

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

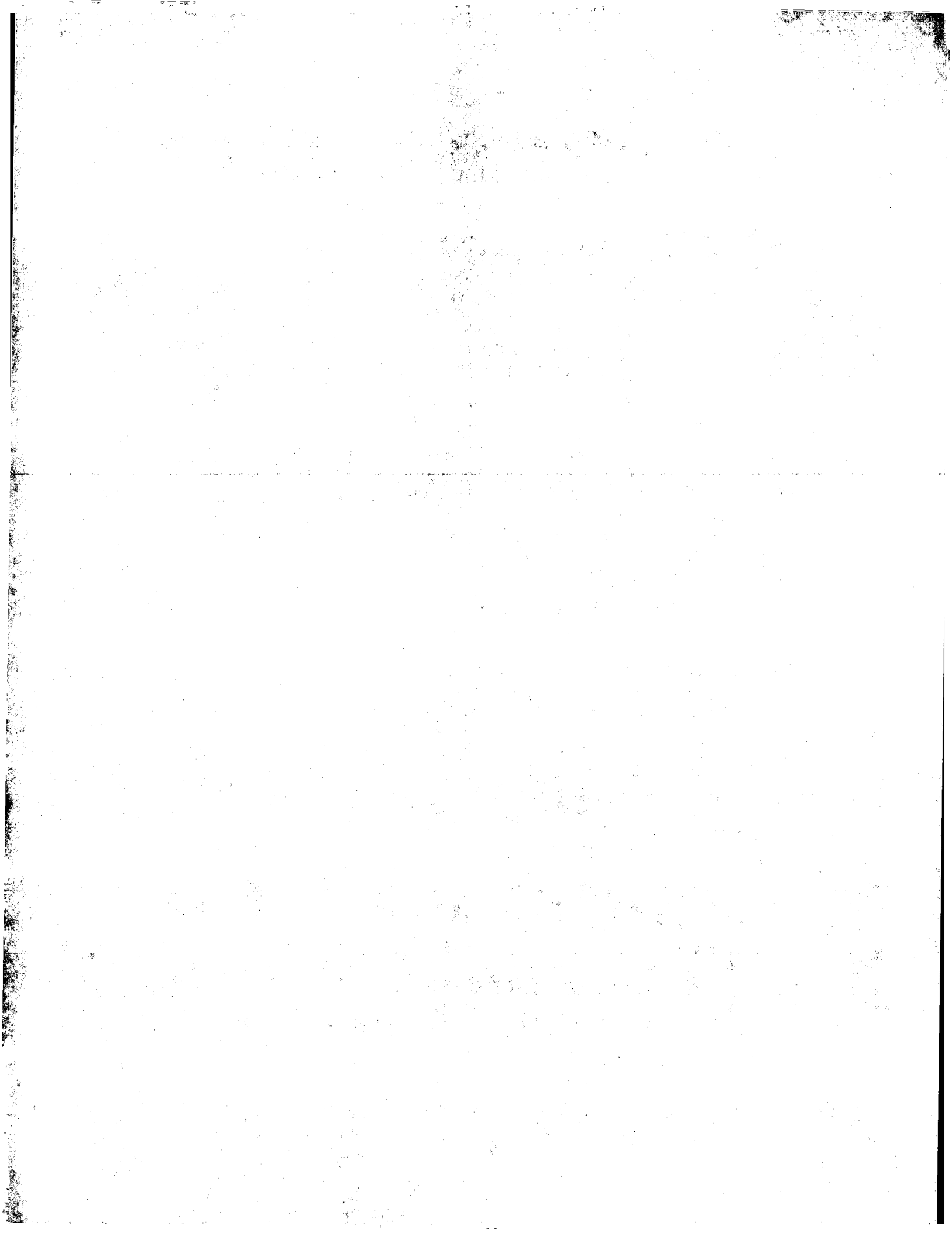
Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**





19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 199 24 511 A 1

51 Int. Cl. 7:
G 01 B 11/03
B 23 Q 17/24
B 25 J 19/00

21 Aktenzeichen: 199 24 511.8
22 Anmeldetag: 28. 5. 1999
43 Offenlegungstag: 21. 12. 2000

DE 199 24 511 A 1

71 Anmelder:
Scheibner, Bernd, Dipl.-Ing., 38126 Braunschweig, DE
74 Vertreter:
GRAMM, LINS & PARTNER, 38122 Braunschweig

72 Erfinder:
Köster, Bernd, Dr.rer.nat., 38106 Braunschweig, DE;
Scheibner, Bernd, Dipl.-Ing., 38162 Cremlingen, DE;
Thiedig, Ulrich, Dipl.-Ing., 38118 Braunschweig, DE;
Wente, Holger, Dr.-Ing., 38106 Braunschweig, DE

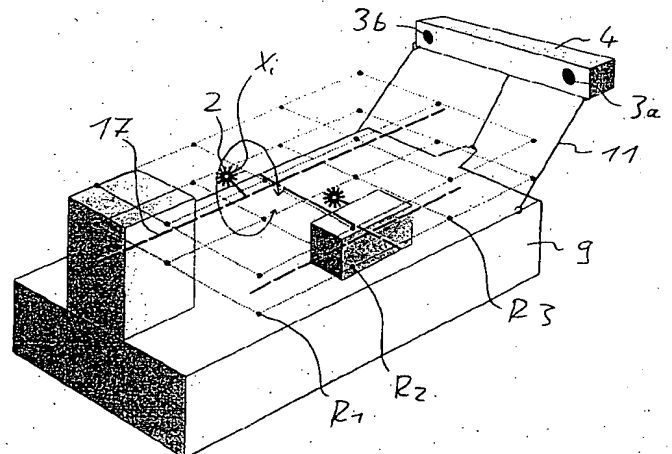
56 Entgegenhaltungen:
DE 198 26 395 A1
DE 196 16 276 A1
US 43 62 977
EP 02 56 968 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vermessungsverfahren für eine Handhabungsvorrichtung

57 Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Vermessung von Handhabungsvorrichtungen, insbesondere Werkzeugmaschinen oder Handhabungsrobotern. Um eine schnelle und sichere Vermessung der Handhabungsvorrichtung zu ermöglichen, ist vorgesehen, daß von der Handhabungsvorrichtung (1) mindestens ein Meßkörper (2) aufgenommen wird, der Meßkörper von Positionierungsmitteln der Handhabungsvorrichtung gemäß handhabungsvorrichtungsseitiger Einstellwerte (Ei) nacheinander an verschiedene, über den dreidimensionalen Arbeitsraum der Handhabungsvorrichtung verteilte Meßpositionen (Xi) verfahren wird, ein optisches Meßsystem (3a, 3b, 4) Meßwerte (Mi) über die Meßpositionen des Meßkörpers (2) ermittelt, die Meßwerte nachfolgend mit gespeicherten Referenzdaten verglichen werden, die über den dreidimensionalen Arbeitsraum verteilte Referenzpositionen (Ri) und dazugehörige Referenzeinmeßwerte enthalten, und aus dem Vergleich Istkoordinaten des Meßkörpers (2) ermittelt werden, und aus einem Vergleich der Istkoordinaten mit aus den Einstellwerten berechneten Sollkoordinaten Korrekturdaten für die Einstellwerte ermittelt werden.



DE 199 24 511 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Vermessen von Handhabungsvorrichtungen, insbesondere Werkzeugmaschinen oder Handhabungsrobotern, ein Meßsystem zum Durchführen eines derartigen Vermessungsverfahrens sowie ein Kalibrierverfahren für ein derartiges Meßsystem.

Handhabungsvorrichtungen wie z. B. Werkzeugmaschinen werden im allgemeinen kalibriert und geprüft, indem die Bewegungsachsen des Werkzeuges und Werkstückes auf ihre Positioniergenauigkeit überprüft werden und anschließend aus den Abweichungen in den Bewegungsachsen korrigierte Einstellwerte ermittelt werden. Hierzu werden die Bewegungsachsen nacheinander auf Geradheitsabweichungen, ihre Rechtwinkligkeit und ihre Parallelität zueinander vermessen.

Die Vermessung einer Werkzeugmaschine, wie z. B. einer Dreh- oder Fräsmaschine, kann z. B. durch ein Prüfnorm mit Drei-Koordinaten-Meßtaster zur Bestimmung der Positionierungsgenauigkeit erfolgen. Weiterhin ist die Verwendung von Laserinterferometern zur Erfassung von translatorischen Bewegungen bekannt, die eine genaue Vermessung der Bewegungsachsen ermöglichen. Auch kann eine Ortsbestimmung eines Laserstrahls in zwei Achsen durch z. B. positionsempfindliche Dioden vorgenommen werden. Diese gestatten unter anderem Rundlaufmessungen und Prüfungen der Parallelität von Drehachsen, die mit einem Laserinterferometer nicht erfassbar sind. Hierbei dient der Laserstrahl als Geradheitsnormal.

Zwar ist durch eine derartige Vermessung der einzelnen Achsen einer Werkzeugmaschine oder eines Handhabungsroboters grundsätzlich eine gute Ermittlung der Positionierungsgenauigkeiten möglich. Nachteilhaft hieran ist jedoch, daß die Einstellung und Vermessung der einzelnen Achsen längere Zeit beansprucht. Weiterhin ist in der Regel eine manuelle Umstellung zwischen den Vermessungsschritten der einzelnen Achsen notwendig, bei denen die Meßgeräte neu positioniert werden müssen oder sogar verschiedene Meßgeräte verwendet werden müssen. Dies hat zur Folge, daß die Vermessung der Positionierungsgenauigkeiten relativ selten und mit relativ wenigen Meßpositionen durchgeführt wird. Hierdurch wird jedoch unter anderem die Positionierungs- und Fertigungsgenauigkeit der Vorrichtung verringert.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, gegenüber den bekannten Vermessungsverfahren, Meßsystemen und Kalibrierverfahren Verbesserungen zu erreichen, und insbesondere eine schnelle und genaue, vorzugsweise auch selbsttätige, Vermessung einer Handhabungsvorrichtung durch seine Benutzer zu ermöglichen.

Diese Aufgabe wird durch ein Vermessungsverfahren zum Vermessen von Handhabungsvorrichtungen gelöst, indem von der Handhabungsvorrichtung mindestens ein Meßkörper aufgenommen wird, der Meßkörper von Positionierungsmitteln der Handhabungsvorrichtung gemäß handhabungsvorrichtungsseitiger Einstellwerte nacheinander an verschiedene, über den dreidimensionalen Arbeitsraum der Handhabungsvorrichtung verteilte Meßpositionen verfahren wird, ein optisches Meßsystem Meßwerte über die Meßpositionen des Meßkörpers ermittelt, die Meßwerte nachfolgend mit gespeicherten Referenzdaten, die über den dreidimensionalen Arbeitsraum verteilte Referenzpositionen und dazugehörige Referenzeinmeßwerte enthalten, verglichen und aus dem Vergleich Istkoordinaten des Meßkörpers ermittelt werden, und aus einem Vergleich der Istkoordinaten mit aus den Einstellwerten berechneten Sollkoordinaten Korrekturdaten für die Einstellwerte ermittelt werden.

Weiterhin wird diese Aufgabe gelöst durch ein optisches Meßsystem mit mindestens zwei voneinander mit vorbekanntem Basisabstand beabstandeten Bildaufnehmern, und einer Speichereinrichtung, in der Referenzdaten gespeichert sind, die Referenzpositionen und dazugehörige Referenzeinmeßdaten aufweisen.

Schließlich wird diese Aufgabe gelöst durch ein Kalibrierverfahren für ein derartiges Meßsystem, bei dem mindestens ein Meßkörper von einer Einmeßvorrichtung aufgenommen wird, gemäß Referenzeinstellwerten in Referenzpositionen verfahren wird, und von dem Meßsystem in den Referenzpositionen Referenzeinmeßwerte ermittelt werden.

Erfindungsgemäß ist somit vorgesehen, daß die Handhabungsvorrichtung mindestens einen Meßkörper aufnimmt und dieser Meßkörper von der Handhabungsvorrichtung gemäß Einstellwerten an verschiedene Meßpositionen verfahren wird.

Da erfindungsgemäß der Meßkörper direkt von der Handhabungsvorrichtung aufgenommen wird, gehen in die Messung alle zwischen der Handhabungsvorrichtung und dem Meßkörper liegenden Maschinenelemente, insbesondere Manipulationseinrichtungen und Greifeinrichtungen ein. Somit wird die Überprüfung der gesamten Funktionskette der Handhabungsvorrichtung ermöglicht, ohne die Elemente der Funktionskette einzeln überprüfen zu müssen.

Somit ist eine zügige Vermessung des kompletten Arbeitsraums der Maschinen mittels einiger Meßpositionen möglich ohne eine aufwendige Vermessung z. B. einzelner Führungsachsen in getrennten Arbeitsschritten auf ihre Parallelität, Winkligkeit und Vorschubungsgenauigkeit. Hierdurch kann die Vermessung häufiger vollzogen werden. Bei einem Einsatz für Werkzeugmaschinen, z. B. Bearbeitungszentren, wird hierdurch die Fertigungsgenauigkeit der Maschine durch die häufigeren Vermessungsverfahren gesteigert.

Die Meßpositionen können den Anforderungen entsprechend gewählt werden. Aufgrund der Fehler der Handhabungsvorrichtung können diese Meßpositionen von den idealen Sollpositionen, die für die jeweiligen Einstellwerte eingenommen werden sollten, abweichen.

Die Meßkörper werden in den Meßpositionen jeweils von einem optischen Meßsystem erfaßt. Dieses optische Meßsystem kann insbesondere zwei Bildaufnehmer aufweisen, die mit vorgegebenem Abstand zueinander positioniert sind und deren optische Achsen vorteilhafterweise in einem vorgegebenen Winkel zueinander stehen. Hierdurch wird eine genaue Positionsbestimmung, z. B. durch ein photogrammetrisches Verfahren, ermöglicht. Die Bildaufnehmer können insbesondere digitale Meßwerte liefern und sind vorzugsweise Kameras, insbesondere CCD-Kameras.

Die Meßwerte des optischen Meßsystems werden nachfolgend mit vorgespeicherten Referenzdaten verglichen. Diese Referenzdaten enthalten Referenzpositionen und Referenzeinmeßdaten, die aus einer zur Kalibrierung des Meßsystems dienenden, vorab durchgeführten Messung stammen. Bei einer derartigen Kalibrierung wird mindestens ein Meßkörper von einer Einmeßvorrichtung gemäß Referenzeinstellwerten in Referenzpositionen verfahren, in denen Referenzeinmeßwerte von dem optischen Meßsystem aufgenommen werden. Diese aus Referenzpositionen und Referenzeinmeßwerten gebildeten Referenzdaten dienen später zum Vergleich mit den Meßwerten des optischen Meßsystems bei der Vermessung der Handhabungsvorrichtung. Somit können durch einen Vergleich der Meßwerte und der Referenzeinmeßwerte Istkoordinaten der Meßpositionen ermittelt werden. Dabei können jeweilige Sollkoordinaten der Meßpositionen, die aufgrund der Einstellwerte zu erwarten sind, mit den Istkoordinaten der Meßposition verglichen und

Abweichungen festgestellt werden. Je nach den Meßerfordernissen können auch nur Differenzvektoren der gemessenen Meßpositionen, z. B. von zwei Meßpunkten einer Achse oder der Differenzvektor zwischen einer Werkzeugaufnahme- und einer Werkstückaufnahme-Position, aus dem Vergleich ermittelt werden.

Die Vermessung kann auch durchgeführt werden, indem das optische Meßsystem selbst von der Handhabungsvorrichtung aufgenommen wird. Es kann insbesondere von einer Werkzeugaufnahme oder Werkstückaufnahme aufgenommen und durch die Positionierungsmittel Verfahren werden. Wenn das optische Meßsystem von der Werkstückaufnahme aufgenommen wird, wird vorteilhafterweise ein Meßkörper von der Werkzeugaufnahme aufgenommen, und umgekehrt. Somit ist eine Messung der Relativabstände von Werkzeugaufnahme und Werkstückaufnahme zueinander möglich.

Erfindungsgemäß werden aus dem Vergleich der Istkoordinaten mit den Sollkoordinaten Korrekturdaten ermittelt. Diese Korrekturdaten bilden ein Maß für die Abweichung bzw. Dejustierung der Handhabungsvorrichtung. Die Korrekturdaten können vorteilhafterweise zur Kompensation der Abweichungen verwendet werden, indem korrigierte Einstellwerte berechnet werden.

Vorteilhafterweise können die Korrekturdaten somit zur Korrektur der Einstellwerte verwendet werden, so daß bei den nächsten Einstellungen der Handhabungsvorrichtung korrigierte Einstellwerte verwendet werden, die zu den gewünschten Positionseinstellungen führen.

Erfindungsgemäß kann somit ein Meßsystem beim Hersteller zunächst kalibriert werden, indem zu mehreren Referenzpositionen Referenzmeßwerte aufgenommen werden. Der Kunde kann anschließend eine Vermessung seiner Handhabungsvorrichtung vornehmen, indem er den Arbeitsraum jeweils mit verschiedenen Einstellwerten vermißt und durch das erfindungsgemäße Vermessungsverfahren unter Benutzung des kalibrierten Meßsystems die Referenzpositionen virtuell in die Handhabungsvorrichtung überträgt. Somit kann insbesondere eine hochgenaue Kalibrierung bzw. Einmessung in das Vermessungsverfahren übertragen werden. Somit können Abweichungen von den Sollpositionen als Fehler bzw. Ungenauigkeiten erkannt werden und diese vorzugsweise korrigiert werden, indem korrigierte Einstellwerte berechnet werden.

Bei CNC-gesteuerten Werkzeugmaschinen und Robotern, beispielsweise auch Robotern mit Parallelkinematik, können die Korrekturdaten zur selbsttätigen Ermittlung von korrigierten Einstellwerten herangezogen werden. Dies ist insbesondere für Roboter mit Parallelkinematik (Hexapoden) vorteilhaft, bei denen eine einzelne Vermessung der sechs Einstellparameter sehr aufwendig ist.

Die verschiedenen Meßpositionen können von den Positionierungsmitteln der Handhabungsvorrichtung selbsttätig eingenommen werden, wobei in jeder Meßposition die Meßwerte der Meßpositionen der Meßkörper selbsttätig ermittelt werden, und nachfolgend die Korrekturwerte selbsttätig aus den Meßwerten und Referenzdaten ermittelt werden.

Die Meßkörper können insbesondere auch um eine Symmetrieachse gedreht werden. Indem die Meßkörper schnell gedreht werden, können Fehler bzw. Ungenauigkeiten der Meßkörper herausgemittelt werden. Hierzu ist vorteilhafterweise die Drehperiode des Meßkörpers kleiner, vorteilhafterweise um ein Vielfaches kleiner als die Belichtungszeit des Meßsystems. Weiterhin kann ein Meßkörper nacheinander in verschiedene Drehpositionen gedreht werden, bei denen jeweils Meßwerte genommen werden. Wenn der Meßkörper z. B. eine runde Fläche darstellt, können somit aus

verschiedenen Blickrichtungen zueinander gedrehte Ellipsen ermittelt werden, aus denen wiederum der Mittelpunkt des Meßkörpers genau bestimmt werden kann. Weiterhin kann aus einer Bestimmung der Halbachsen der Ellipsen ebenfalls auf den optischen Mittelpunkt des Meßkörpers geschlossen werden.

Indem für die Meßkörper Infrarot-Leuchtdioden verwendet werden und die Bildaufnehmer mit Infrarot-Filtern versehen werden, kann unerwünschtes Störlicht von den Messungen ferngehalten werden. Die Referenzpositionen können zum einen ein gleichmäßiges Raster über den Arbeitsraum ergeben, es kann jedoch auch ein ungleichmäßiges Raster verwendet werden, bei dem einige wichtige Einstellungen genauer, d. h. mit geringerem Abstand der Referenzpunkte zueinander, vermessen sind.

Die Erfindung wird im folgenden anhand der beiliegenden Zeichnungen an einigen Ausführungsformen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 ein Meßsystem gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 2 eine Werkzeugmaschine mit einem Meßsystem gemäß einer Ausführungsform der Erfindung;

Fig. 3 eine Werkzeugmaschine mit Meßsystem gemäß einer weiteren Ausführungsform.

Ein optisches Meßsystem weist gemäß **Fig. 1** eine Meßkonsole **4** auf, in oder an der in einem vorbekannten Abstand d zwei CCD-Kameras **3a**, **3b** angebracht sind. Die optischen Achsen der CCD-Kameras verlaufen parallel oder unter einem Winkel aufeinander zu, so daß sie sich vor den Kameras kreuzen. Ein Meßkörper **2**, der im Blickfeld beider CCD-Kameras **3a**, **3b** positioniert ist, kann entsprechend von den Kameras unter den Winkeln α und β gegenüber der Horizontalen – ihrer Verbindungslinie – bzw. einem entsprechenden Winkel gegenüber ihrer optischen Achse erfaßt werden. Die CCD-Kameras liefern entsprechend jeweils zweidimensionale Bilder, in denen ein Meßkörper beispielsweise in den Koordinaten x_1, y_1 bzw. x_2, y_2 erfaßt ist. Die Koordinaten werden dabei von Photodiodenarrays **8a**, **8b** der CCD-Kameras **3a**, **3b** festgelegt. Die Position des Meßkörpers **2** relativ zu der Meßkonsole **4** bzw. den CCD-Kameras **3a**, **3b** kann dabei in Kenntnis des Basisabstandes d durch eine photogrammetrische Berechnung ermittelt werden, bei der die Winkel α und β durch die Koordinaten x_1, y_1 und x_2, y_2 berechnet werden können.

In einem Kalibriervorgang beim Hersteller wird das optische Meßsystem derartig genau vermessen, daß die Lage von (virtuellen) Referenzpunkten $R_i = R_1, R_2, \dots$ relativ zu dem optischen Meßsystem mit Meßkonsole **4** und CCD-Kameras **3a**, **3b** hochgenau bekannt ist. Die Referenzpositionen bzw. Koordinaten der Referenzpositionen werden zusammen mit den Referenzmeßwerten in einer Speichereinrichtung des Meßsystems gespeichert.

Die Speichereinrichtung kann in der Meßkonsole **4** selbst angeordnet sein. Weiterhin ist es möglich, daß die Speichereinrichtung außerhalb der Meßkonsole und somit außerhalb der Handhabungsvorrichtung angeordnet ist.

Fig. 2 und **3** zeigen eine Werkzeugmaschine **1** mit einem Bearbeitungstisch **6**. Relativ zu der Spindel **7**, von der in **Fig. 2** lediglich die Spindelachse **17** eingezeichnet ist, kann ein Bearbeitungstisch **6** in bekannter Weise verfahren werden. Die Spindel kann dabei einen Meßkörper **2** in der Spindelachse **17** oder mit radialem Abstand zu der Spindelachse **17**, wie in **Fig. 2** gezeigt, aufnehmen und längs der Spindelachse und um die Spindelachse herum verfahren. Weiterhin können Meßkörper **2** auf dem Bearbeitungstisch **6** angebracht werden.

Eine Vermessung der Werkzeugmaschine kann nun durchgeführt werden, indem mindestens ein Meßkörper **2**, vorteil-

hafterweise mehrere Meßkörper 2, in dem Bearbeitungsraum der Werkzeugmaschine 1 verfahren werden und zu mehreren Einstellwerten, z. B. des Spindelvorschubs der Spindel 7, jeweils Meßwerte der Positionen der Meßkörper 2 von dem Meßsystem 4, 3a, 3b aufgenommen werden. Aufgrund von Ungenauigkeiten und Fehleinstellungen der Werkzeugmaschine können die eingestellten Meßpositionen der Meßkörper 2 von den idealen Sollpositionen, die sich bei fehlerfreier Einstellung aufgrund der Einstellwerte der Werkzeugmaschine ergeben müßten, abweichen. Da das optische Meßsystem beim Hersteller des Meßsystems mittels einer Einmeßvorrichtung hochgenau kalibriert ist, können Abweichungen der Meßwerte von idealen Meßwerten direkt auf Ungenauigkeiten bei der Einstellung zurückgeführt werden.

Die Ermittlung der tatsächlich eingenommenen Meßpositionen X_i der Meßkörper 2 erfolgt durch einen Vergleich mit hochgenau vermessenen Referenzpositionen $R_i = R_1, R_2, \dots$, die zusammen gemäß Fig. 2 in dem Bearbeitungsraum ein Raster bilden, das vorteilhafterweise den ganzen Bearbeitungsraum der Werkzeugmaschine ausfüllt.

Die Meßpositionen X_i können relativ zu den Referenzpositionen R_i z. B. durch Interpolation, Extrapolation oder ein anderes mathematisches Verfahren bestimmt werden, so daß eine Vermessung des Arbeitsraumes der Meßmaschine durch die Meßkörper 2 ermöglicht wird. Somit kann wiederum die relative Zuordnung der einzelnen Meßpositionen zueinander und somit die Position innerhalb eines werkzeugmaschinenfesten Koordinatensystems durchgeführt werden.

Zu den Meßpositionen werden somit Istkoordinaten durch das Meßsystem ermittelt, die mit den zu erwartenden Koordinaten bzw. Sollkoordinaten verglichen werden können.

Eine Spindelachse 17 der Spindel 7 kann vorteilhafterweise vermessen werden, indem ein Meßkörper 2 gemäß Fig. 2, 3 außerhalb der Spindelachse 17 aufgenommen wird. Indem ohne Verstellung des Spindelvorschubs die Meßpositionen des Meßkörpers 2 bei mindestens drei verschiedenen Winkeleinstellungen gemessen werden, kann der Kreis, auf dem der Meßkörper 2 sich bewegt, ermittelt werden und hieraus insbesondere der Kreismittelpunkt bestimmt werden, durch den die Spindelachse 17 senkrecht verläuft. Somit kann der genaue Verlauf der Spindelachse 17 bestimmt werden. Die Spindelachse 17 kann jedoch auch vermessen werden, indem die Spindel mehrere Meßkörper 2 außerhalb der Spindelachse 17 aufnimmt und eine Messung an mindestens zwei verschiedenen Winkeleinstellungen vornimmt.

Die Kalibrierung des optischen Meßsystems erfolgt beispielsweise beim Hersteller des Meßsystems mittels einer Einmeßvorrichtung, bei der in umgekehrter Anwendung des Meßverfahrens von Fig. 2 eine dem Bearbeitungstisch 6 entsprechende Grundplatte mit mindestens einem, vorzugsweise mehreren Markierungskörpern 2 auf einer exakten Geradführung definiert verfahren wird.

Durch einen definierten Vorschub einer Spindel mit Schrittmotor kann eine schrittweise Positionierung der Grundplatte erreicht werden, so daß ein Raum entsprechend der gewünschten Meßraumgröße des zu kalibrierenden Meßsystems abgefahren wird. Es entsteht das Raster von Referenzpositionen R_i , das in der Form gespeichert wird, daß zu den Referenzpositionen, die z. B. durch ein kartesisches Koordinatensystem festgelegt werden können, jeweils die Referenzeinmeßwerte gespeichert werden. Somit wird nachträglich ein direkter Vergleich der Meßwerte von Meßpositionen X_i mit diesen Referenzeinmeßwerten ermöglicht, so daß die optischen Fehler des Meßsystems durch diesen direkten Vergleich weitgehend eliminiert werden können.

Indem die Werkzeugmaschine Meßkörper aufnimmt, werden alle zwischen Werkzeug und Werkstück liegenden Maschinenelemente der Funktionskette berücksichtigt, ohne daß die verschiedenen Achsen sämtlicher mechanischer Führungen vermessen werden müssen. Indem Meßkörper 2 in die Werkzeugaufnahme und die Werkstückaufnahme eingesetzt werden, ist eine direkte Vermessung der relativen Anordnung von Werkstück- und Werkzeugaufnahme zueinander möglich.

Vorteilhafterweise kann das Meßsystem selbst von der Werkstückaufnahme oder Werkzeugaufnahme aufgenommen werden und einen Meßkörper in der jeweils anderen Aufnahmeeinrichtung erfassen. In diesem Fall wird die Relativposition zwischen Werkstückaufnahme und Werkzeugaufnahme vermessen.

Die Einmeßvorrichtung selbst wird in einer Urkalibrierung bzw. Ureinmessung bei einer Prüfstelle vermessen, so daß die Fehler der Kalibrierung durch den Hersteller des Meßsystems nahezu verschwindend sind.

Erfindungsgemäß können insbesondere auch Werkzeugmaschinen und Roboter mit Parallelkinematik, d. h. insbesondere Hexapoden, vermessen werden. Da erfindungsgemäß die einzelnen Führungachsen der Werkzeugmaschine bzw. des Handhabungsroboters nicht einzeln vermessen werden, können direkt verschiedene Werte an der Hexapodeneinstellung eingestellt und die hierdurch erreichten Meßpositionen vermessen werden. Es entfällt somit insbesondere eine aufwendige Vermessung der sechs Einstellachsen einer Hexapode, wie sie bei herkömmlichen Vermessungsverfahren mit achsenorientierter Vermessung notwendig wäre.

Es können wie in Fig. 2, 3 gezeigt regelmäßige Raster, z. B. mit Referenzpositionen entlang fester Abstände des kartesischen Koordinatensystems, verwendet werden. Es ist auch die Verwendung von Rastern mit unregelmäßigen Abständen zwischen den Referenzpositionen möglich, um die Genauigkeit bei der Ermittlung von Meßpositionen in gewissen Bereichen der Werkzeugmaschine zu erhöhen.

Patentansprüche

1. Vermessungsverfahren zum Vermessen einer Handhabungsvorrichtung, insbesondere einer Werkzeugmaschine (1) oder eines Handhabungsroboters, bei dem von der Handhabungsvorrichtung (1) mindestens ein Meßkörper (2) aufgenommen wird, der Meßkörper von Positionierungsmitteln der Handhabungsvorrichtung gemäß handhabungsvorrichtungsseitiger Einstellwerte (E_i) nacheinander an verschiedene, über den dreidimensionalen Arbeitsraum der Handhabungsvorrichtung verteilte Meßpositionen (X_i) verfahren wird, ein optisches Meßsystem (3a, 3b, 4) Meßwerte (M_i) über die Meßpositionen des Meßkörpers (2) ermittelt, die Meßwerte nachfolgend mit gespeicherten Referenzdaten verglichen werden, die über den dreidimensionalen Arbeitsraum verteilte Referenzpositionen (R_i) und dazugehörige Referenzeinmeßwerte enthalten, und aus dem Vergleich Istkoordinaten des Meßkörpers (2) ermittelt werden, und aus einem Vergleich der Istkoordinaten mit aus den Einstellwerten berechneten Sollkoordinaten Korrekturdaten für die Einstellwerte ermittelt werden.
2. Vermessungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß bei dem Vergleich zu Meßwerten (M_i), die nicht vorbekannten Referenzeinmeßwerten von Referenzpositionen (R_i) entsprechen, Istkoordinaten der Meßpositionen (X_i) aus den Referenzpositionen

durch Interpolation und/oder Extrapolation, insbesondere lineare Inter- oder Extrapolation, ermittelt werden.

3. Vermessungsverfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Meßsystem zwei voneinander beabstandete optische Bildaufnehmer (3a, 3b) aufweist. 5

4. Vermessungsverfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Istkoordinaten der Meßpositionen (Xi) aus den Meßwerten (Mi) durch ein photogrammetrisches Verfahren mittels eines vorbekannten Abstands (d) zwischen den mindestens zwei Bildaufnehmern (3a, 3b) ermittelt werden. 10

5. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Meßkörper (2) von der Handhabungsvorrichtung aufgenommen werden, vorzugsweise jeweils ein Meßkörper (2) in einer Werkzeugaufnahme und ein Meßkörper (2) in einer Werkstückaufnahme, und Relativpositionen zwischen den wenigstens zwei Meßkörpern ermittelt werden. 15

6. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß das optische Meßsystem von der Handhabungsvorrichtung aufgenommen wird, und Relativpositionen zu mindestens einem von der Handhabungsvorrichtung aufgenommenen Meßkörper gemessen werden. 20

7. Vermessungsverfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßsystem in einer Werkzeugaufnahme und ein Meßkörper in einer Werkstückaufnahme, oder das Meßsystem in einer Werkstückaufnahme und der Meßkörper in einer Werkzeugaufnahme aufgenommen sind. 25

8. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Meßkörper (2) von einer Spindel (7) der Handhabungsvorrichtung in einer von der Spindelachse (17) der Spindel (7) beabstandeten Position aufgenommen wird und ohne Verstellung des Spindelvorschubs durch Drehung um die Spindelachse (17) in mindestens drei Meßpositionen verschwenkt wird, und nachfolgend aus den drei Meßpositionen die Spindelachse (17) bestimmt wird. 30

9. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei Meßkörper (2) von einer Spindel (7) der Handhabungsvorrichtung in von der Spindelachse (17) der Spindel (7) beabstandeten Positionen aufgenommen werden und ohne Verstellung des Spindelvorschubs durch Drehung um die Spindelachse (17) in mindestens zwei Meßpositionen verschwenkt werden, und nachfolgend aus den mindestens vier gemessenen Meßpositionen die Spindelachse (17) bestimmt wird. 35

10. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßkörper selbstleuchtend sind. 40

11. Vermessungsverfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Meßkörper infrarotes Licht aussenden und die Bildaufnehmer (3a, 3b) einen Infrarotfilter aufweisen. 45

12. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Mittelpunktnormalen durch Projektionsflächen, die sich durch Projektionen der Meßkörper in verschiedene Blickrichtungen ergeben, sich in einem gemeinsamen geometrischen Mittelpunkt des Meßkörpers schneiden. 50

13. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß aus den Korrekturdaten korrigierte Einstellwerte für die Handhabungsvorrichtung (1) ermittelt werden. 55

14. Vermessungsverfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die korrigierten Einstellwerte von der Handhabungsvorrichtung (1) selbsttätig aus den Korrekturdaten ermittelt werden und nachfolgend als Einstellwerte verwendet werden.

15. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß von der Handhabungsvorrichtung selbsttätig nacheinander die verschiedenen Einstellwerte von den Positionierungsmitteln eingestellt werden, Meßwerte der Meßpositionen der Meßkörper ermittelt werden und aus den Meßwerten und Referenzwerten Korrekturdaten ermittelt werden.

16. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß eine Werkzeugmaschine mit Parallelkinematik oder ein Roboter mit Parallelkinematik vermessen wird.

17. Vermessungsverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Meßkörper um eine Symmetrieachse rotiert.

18. Optisches Meßsystem zum Durchführen eines Vermessungsverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 17, mit

mindestens zwei voneinander mit vorbekanntem Basisabstand (d) beabstandeten Bildaufnehmern (3a, 3b), und

einer Speichereinrichtung, in der Referenzdaten gespeichert sind, die Referenzpositionen (Ri) und dazugehörige Referenzmeßdaten aufweisen.

19. Meßsystem nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Bildaufnehmer (3a, 3b) durch eine Konsole (4) starr miteinander verbunden sind.

20. Meßsystem nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die optischen Achsen der mindestens zwei Bildaufnehmer in einem vorgegebenen Winkel zueinander angeordnet sind und sich vor den Bildaufnehmern kreuzen.

21. Meßsystem nach einem der Ansprüche 18 bis 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Bildaufnehmer CCD-Kameras sind.

22. Kalibrierverfahren zum Kalibrieren eines Meßsystems nach einem der Ansprüche 18 bis 21, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Meßkörper (2) von einer Einmeßvorrichtung aufgenommen wird, in Referenzpositionen (Ri) verfahren wird, und von dem Meßsystem (3a, 3b, 4) in den Referenzpositionen Referenzmeßwerte ermittelt werden.

23. Kalibrierverfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzpositionen (Ri) in vorzugsweise gleichmäßigen Abständen über den dreidimensionalen Arbeitsraum der Handhabungsvorrichtung verteilt angeordnet sind.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

